

ОЦІНКА ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ВИДОБУВАННЯ ТИТАНУ МЕТОДОМ АНАЛІЗУ ІЄРАРХІЙ

Горишнякова Яна Вікторівна,
аспірантка

Науково-дослідної установи «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем»
ORCID ID: 0000-0001-7468-8301

Аніщенко Людмила Яківна,
доктор технічних наук, доцент,

Науково-дослідної установи «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем»,
ORCID ID: 0000-0003-2993-7828
Scopus Author ID: 57220194078

У даній статті пропонуються основні засади управління екологічною безпекою процесу видобування розсіпних титанових руд шляхом аналізу взаємозалежності факторів, що впливають на довкілля. Особлива увага приділяється розробці ієрархічної моделі, за допомогою якої визначаються найбільш критичні фактори впливу, оцінюються умови накопичення наслідків небезпечних впливів та ефективність природоохоронних заходів. Шляхом застосування методу аналізу ієрархій (MAI), адаптованого до екологічних завдань, забезпечується структурований підхід до оцінювання факторів впливу та оптимізації заходів щодо зниження негативного впливу гірничих робіт. Запропоновано багаторівневу ієрархічну структуру, що включає глобальну мету – екологічна безпека видобування, ключові екологічні критерії, їхні детальні підфактори та заходи щодо мінімізації впливу, як передбачені в проєкті, так і додаткові, за результатами післяпроєктного моніторингу. По результатам виконаного аналізу виділено найбільші загрози для довкілля, а саме, хімічне забруднення підземних і поверхневих вод, порушення гідродинамічного режиму підземних вод та деградація ґрунтового покриву. Встановлено, що ці фактори мають найвагоміший вплив на стан довкілля та потребують реалізації першочергових природоохоронних заходів. Зроблено висновок, що за допомогою запропонованого методу аналізу ієрархій можливо не лише оцінити фактори впливу на довкілля, а й розробити обґрунтовані рішення щодо зниження негативного впливу відкритого видобування титану на навколишнє середовище. Запропонований підхід є ефективним інструментом екологічного менеджменту у гірничодобувній промисловості, оскільки дозволяє системно оцінювати та прогнозувати наслідки діяльності підприємств видобувного сектору. Адаптація запропонованої методики до умов видобутку інших видів корисних копалин відкриває можливості для широкого її застосування у сфері екологічного регулювання та сталого розвитку мінерально-сировинної бази.

Ключові слова: гірничодобувна діяльність, післяпроєктний моніторинг, титанові руди, водне середовище, екологічна безпека, екологічна оцінка, багатокритеріальний аналіз.

Horyshnyakova Yana, Anishchenko Lyudmilla. Environmental Safety Assessment of Titanium Mining Using the Analytic Hierarchy Process

This study aims to assess the environmental safety of open-pit titanium mining by applying the Analytic Hierarchy Process (AHP) to identify critical environmental impact factors and optimize corresponding mitigation strategies. The research contributes to the advancement of sustainable resource extraction by proposing a structured decision-making framework tailored to complex ecological challenges. A multi-criteria hierarchical model was developed, incorporating geological, hydrological, and ecological indicators relevant to titanium mining operations. The AHP method was adapted for environmental applications to enable systematic pairwise comparisons of impact factors, based on expert judgment and supported by post-project environmental monitoring data. This approach facilitated the determination of factor priority and the evaluation of mitigation alternatives. The results indicate that chemical contamination of surface and groundwater, disruption of hydrodynamic regimes, and soil degradation represent the most significant environmental risks. Priority mitigation measures include land reclamation, closed-loop water circulation systems, and long-term ecological restoration, aimed at minimizing negative impacts and enhancing ecosystem resilience. The study presents a novel application of AHP in the context of titanium mining, introducing an integrated framework that combines expert-based evaluation with empirical monitoring data. This fusion enhances predictive accuracy and supports informed decision-making in environmental management. The proposed approach serves as a practical tool for mining companies, environmental consultants, and regulatory agencies to assess ecological risks, improve monitoring systems, and implement sustainable mining practices. The methodology is adaptable to other sectors within the extractive industry facing similar environmental concerns. The integration of AHP with dynamic environmental monitoring demonstrates a high potential for assessing and mitigating the environmental impacts of open pit mining. This supports adaptive management and helps to balance industrial activity with environmental sustainability. Future research should explore hybrid modeling approaches to further enhance the predictive capabilities and accuracy of impact assessment.

Key words: mining activities, post-project monitoring, titanium ores, water environment, environmental safety, environmental assessment, multi-criteria analysis.

Вступ. Розвиток гірничодобувної галузі передбачає обов'язкове врахування екологічних аспектів на всіх етапах виробничого процесу [1, с. 31]. Видобування титану, зокрема відкритим кар'єрним способом, супроводжується значним антропогенним навантаженням на довкілля, що проявляється у порушенні природних ландшафтів, деградації ґрунтів, зміні гідрогеологічного режиму підземних вод, а також забрудненні та виснаженні водних ресурсів [2, с. 212]. У зв'язку з цим, особливого значення набуває впровадження післяпроектного моніторингу (ППМ) як інструменту оцінки фактичних екологічних наслідків та ефективності реалізованих природоохоронних заходів [3, с. 47].

Попри впровадження сучасних екологічних стандартів, залишається потреба у вдосконаленні методів екологічної оцінки, що враховували б складну взаємодію між техногенними процесами та природним середовищем не лише на етапі планування, а й у межах ППМ [4, с. 23]. Традиційні підходи, засновані на лінійному аналізі окремих компонентів екосистем, часто формують фрагментовані висновки, що ускладнює формування цілісної оцінки екологічної безпеки діяльності.

Матричні методи оцінювання, які належать до групи експертних, частково вирішують ці проблеми, однак характеризуються низкою обмежень: громіздкістю реалізації, складністю агрегування оцінок, обмеженою прогностичною здатністю та недостатньою об'єктивністю [5]. У зв'язку з цим, метод аналізу ієрархій, що реалізує холістичний підхід [6; 7] і дозволяє структурувати та кількісно оцінити складні системи, є доцільним для екологічного обґрунтування рішень у сфері гірничо-видобувної промисловості.

МАІ, запропонований Т. Сааті [6; 7], передбачає побудову багаторівневої ієрархічної моделі, де вершина представляє загальну ціль, а нижні рівні – критерії, субкритерії та альтернативи. Елементи ієрархії взаємопов'язані, що дозволяє оцінювати проблему в її системному контексті. Процедура включає попарне порівняння елементів за шкалою Сааті, побудову матриць домінування, перевірку узгодженості експертних оцінок та обчислення пріоритетів для прийняття обґрунтованого рішення.

Адаптація МАІ до екологічних задач відкриває можливості для об'єктивного оцінювання екологічної безпеки планованої діяльності, визначення критично важливих факторів впливу та формування ефективної програми ППМ.

МАІ достатньо широко використовується в екологічних дослідженнях як вітчизняних, так і зарубіжних науковців. Даний метод віднайшов застосування у вирішенні завдань щодо визначення найбільш прийнятних методів захисту ґрунтів [8], для оцінки ефективності видобувних робіт при розробці вторинних родовищ корисних копалин [9] та оцінки екологічних наслідків видобування корисних копалин підземним способом [10; 11].

В роботах [12; 13] детально розглянуто використання МАІ для оцінки впливу видобувних процесів на водні ресурси. Використання методу аналізу ієрархій дозволяє ефективно виконувати комплексну еколого-

аналітичну оцінку впливу техногенних факторів на довкілля [14]. Водночас у науковій літературі відсутні цілісні підходи до використання МАІ в контексті формування структурованої концепції післяпроектного моніторингу для родовищ титанових руд.

Наукова новизна цього дослідження полягає у розробці та апробації адаптованої методики використання МАІ для багатокритеріального аналізу екологічної безпеки на прикладі Межирічного родовища розсіпних титанових руд. Вперше запропоновано інтеграцію МАІ з еколого-геохімічними характеристиками конкретного об'єкта, що дозволило виявити найбільш критичні фактори впливу, обґрунтувати необхідність ППМ та сформулювати його програму й регламент проведення. Запропонований підхід може бути адаптований для аналогічних об'єктів гірничо-видобувної промисловості, що підвищує його практичну цінність.

Метою дослідження є наукове обґрунтування застосування адаптованого методу аналізу ієрархій для проведення комплексної багатокритеріальної оцінки екологічної безпеки видобувної діяльності на Межирічному родовищі з подальшим визначенням критичних факторів впливу, формуванням підходів до ППМ і розробленням його програми.

Основні завдання дослідження включають ідентифікацію ключових екологічних факторів впливу, побудову багаторівневої моделі оцінювання, аналіз ефективності природоохоронних заходів та оптимізацію системи моніторингу на основі результатів багатокритеріального аналізу.

Матеріали та методи. Для комплексної оцінки впливу на довкілля та управління екологічною безпекою планованої діяльності у науковій практиці УКРНДІЕП використовується метод аналізу ієрархій (МАІ), адаптований до завдань оцінки впливу на довкілля (ОВД), стратегічної екологічної оцінки (СЕО), екологічної експертизи, післяпроектного моніторингу (ППМ) та післяпроектного аналізу [15]. Адаптація методу включала розробку алгоритму, моделей типових ієрархічних структур, вербальних таблиць визначень та характеристик зв'язків між елементами ієрархій, а також модифікацію шкали відносної важливості факторів. Усі ці розробки інтегровані в сертифікований програмний продукт, який активно використовується у практиці.

На відміну від більшості попередніх програм, створений програмний продукт дозволяє будувати багаторівневі ієрархії для необмеженої кількості порівнюваних варіантів і факторів. При побудові ієрархій і проведенні подальших розрахунків зберігаються всі проміжні етапи, що дозволяє повертатися до попередніх етапів аналізу для виправлення помилок і вдосконалення результатів. Паралельно з аналізом заповнюється вербальна таблиця зв'язків між елементами ієрархії, що допомагає візуалізувати взаємозв'язки і уточнювати оцінки.

Для оцінки екологічної безпеки видобутку розсіпних титанових руд на Межирічному родовищі в рамках післяпроектного моніторингу використовувався зазначений сертифікований програмний продукт, розроблений УКРНДІЕП [15]. Методологія передбачає

експертно-аналітичне оцінювання шляхом попарного порівняння критеріїв і факторів впливу за адаптованою шкалою Т. Сааті [16], що забезпечує отримання узгоджених результатів і об'єктивність оцінки.

Для підвищення точності оцінок та зменшення впливу суб'єктивних факторів застосовувався механізм колективної експертизи [17–19], що дозволило коригувати попередні висновки на основі узгоджених думок фахівців. Ключовим фактором при виборі експертів було їх обізнаність із законодавчою та методичною документацією щодо ОВД, а також ознайомлення з попередньою практикою застосування адаптованого МАІ для оцінки впливу на довкілля. Експертам надавались матеріали, що стосуються оцінюваної планованої діяльності, умов її виконання та факторів впливу на навколишнє середовище в зоні впливу оцінюваної діяльності. До групи експертів залучався системний аналітик.

Для виконання комплексного аналізу використовувались результати попередніх і поточних польових спостережень, проведених УКРНДІЕП в рамках науководослідних робіт на замовлення ТОВ «МЕЖИРІЧЕНСЬКИЙ ГІРНИЧО-ЗБАГАЧУВАЛЬНИЙ КОМБІНАТ». Зокрема, були використані результати робіт «Розробка програми післяпроектного екологічного моніторингу та методів проведення контролю щодо впливу на довкілля планованої діяльності з видобування та збагачення титанових руд Ісаківської та Південної ділянок Межирічного родовища» (г/д № 1240/2.2 від 16.03.2020 р.) та «Здійснення післяпроектного екологічного моніторингу в межах району видобування та збагачення титанових руд Ісаківської та Південної ділянок Межирічного родовища» (г/д № 1362/2.2 від 26.01.2021 р.; г/д № 1570/2.2 від 05.01.2022 р.). Крім того, використовувались результати стандартних лабораторних хіміко-аналітичних досліджень проб води та ґрунтів, а також математичне моделювання гідродинамічних процесів і аналітичні розрахунки гідрогеологічних параметрів.

Залучення різноманітних методів дозволило провести всебічну оцінку стану навколишнього середовища в межах Межирічного родовища титанових розсипів та визначити критичні фактори впливу, що потребують додаткових природоохоронних заходів.

Результати та їх обговорення. Екологічно безпечне видобування титанових руд є складною багатофакторною системою, що охоплює технологічні, екологічні, економічні та соціальні аспекти. При цьому враховуються геологічні характеристики родовища, особливості планованої діяльності та наявні механізми екологічного управління. Для структурованої оцінки таких складних систем у дослідженні було застосовано метод аналізу ієрархій (МАІ), що дозволив розділити вплив видобувних робіт на декілька рівнів і провести багатокритеріальний аналіз потенційних екологічних наслідків.

Ієрархічна структура оцінки екологічної безпеки. У рамках дослідження побудовано ієрархію з 8 рівнів [20, с. 199], кожен з яких відображає конкретний аспект управління екологічною безпекою видобувної діяльності.

Рівень 1. Геологічні характеристики родовища (GeoX). Визначаються різноманітні геологічні параметри родовища, такі як геоморфологічні, гідрогеологічні, геохімічні тощо.

Рівень 2. Складові планованої діяльності (ВД). На даному рівні оцінюється безпосередній процес видобутку корисних копалин, їх переробка транспортування та інші етапи. Визначається, який із оцінюваних етапів буде мати суттєвіший вплив на складові довкілля.

Рівень 3. Кластери наслідків впливу (Н). На цьому рівні оцінюються який з кластерів: прямі чи опосередковані наслідки впливу планованої діяльності є вагомими для складових довкілля.

Рівень 4. Основні наслідки впливів (НВ). На цьому рівні надається детальний опис того, як планована діяльність може змінити ландшафт, ґрунти, водні ресурси, біорізноманіття, а також здатність території підтримувати життєдіяльність людей.

Рівень 5. Критерії безпеки навколишнього середовища (К). На цьому рівні виконується оцінка впливу на конкретні складові навколишнього середовища: повітря, ґрунти, вода, біота, що дозволяє виділити найбільш вразливі елементи екосистеми.

Рівень 6. Управління екологічною безпекою (ХПВ). На цьому рівні оцінюється, наскільки ефективно можна регулювати екологічну безпеку, у тому числі за допомогою регуляцій і заходів з мінімізації впливів.

Рівень 7. Адміністративний рівень управління (ЗРЗ). Виконується оцінка адміністративних заходів, включаючи державний, регіональний та місцевий рівні, для забезпечення екологічної безпеки.

Рівень 8 (заключний). Плановані заходи з безпеки (ЗБ). На цьому рівні наводяться заходи, які спрямовані на моніторинг, контроль, прогнозування та впровадження кращих доступних технологій для мінімізації впливу на навколишнє середовище.

Порівняльний аналіз за рівнями. Для кожного рівня проводився попарний аналіз критеріїв, що дозволило визначити найбільш значущі фактори, а також оцінити можливість зменшення їх негативного впливу за допомогою природоохоронних заходів [20, с. 200–202].

На **Рівні 1** порівнювалися критерії *GeoX1, GeoX2, GeoX3, GeoX4, GeoX5, GeoX6, GeoX7* та визначалося, який з критеріїв буде більш значущим та впливовим у порівнянні з кожним іншим стосовно впливу планованої діяльності на стан екологічної безпеки.

На **Рівні 2** порівнювалися критерії *ВД1, ВД2, ВД3, ВД4, ВД5, ВД6* та визначалося, який з видів планованої діяльності (видобувної діяльності) буде мати більш суттєвий вплив на екологічний стан в аспекті критерію позначеного елементу вищого рівня (*GeoX*).

На **Рівні 3** порівнювалися критерії *Н1, Н2* та визначалося, який із наслідків впливу (прямий або опосередкований) буде більш вагомим для екологічної безпеки у відповідності до факторів впливу планованої діяльності параметрів, характеристик, показників позначених елементом верхнього вищого рівня (*ВД*).

На **Рівні 4** порівнювалися критерії *НВ1, НВ2, НВ3, НВ4, НВ5, НВ6, НВ7, НВ8* та визначалося, які із наслід-

ків впливів в рамках відповідного кластеру (**H1, H2**) матиме суттєвіше значення, у порівнянні з іншими, в аспекті екологічної безпеки планованої діяльності.

На Рівні 5 порівнювалися критерії **K1, K2, K3, K4** та визначалося, яка зі складових навколишнього природного середовища зазнає та може зазнати більш суттєвих змін від кожного з наслідків вищого рівня (**HВ**).

На Рівні 6 порівнювалися критерії **ХПВ1, ХПВ2, ХПВ3, ХПВ4** та визначалося значущість кожної з характеристик впливу для елементів вищого рівня (**K**).

На Рівні 7 порівнювалися критерії **ЗРЗ1, ЗРЗ2, ЗРЗ3** та визначалося, наскільки рівень реалізації заходів у відношенні до елементів вищого рівня (характеристики впливу (**ХПВ**)) є більш дієвим щодо зменшення наслідків впливу планованої діяльності.

На Рівні 8 порівнювалися критерії **ЗБ1, ЗБ2, ЗБ3, ЗБ4, ЗБ5, ЗБ6, ЗБ7, ЗБ8, ЗБ9** та визначалося, який із зазначених елементів заходів безпеки для кожного елемента вищого рівня (**ЗРЗ**) є більш суттєвим, впливовим та дієвим у порівнянні з іншими.

Застосування методу попарних порівнянь за шкалою Т. Сааті дозволило обчислити вагові коефіцієнти кожного критерію. Результати перевірялись за індексом узгодженості (CI) та відношенням узгодженості (CR); при значенні $CR < 0,1$ вважалося, що судження експертів узгоджені [16]. Такий підхід дає змогу всебічно оцінити критичні впливи на довкілля та розробити заходи щодо їх мінімізації.

Визначення критичних екологічних факторів. Аналіз ієрархічної моделі дозволив виокремити основні зовнішні чинники, що впливають на екологічну безпеку видобування титанових руд:

- екологічні обмеження (охорона ґрунтів, водних ресурсів та атмосферного повітря);
- законодавче регулювання (міжнародні екологічні норми, національні нормативно-правові акти, екологічні квоти);
- технологічний прогрес (впровадження сучасних методів видобування з мінімальним впливом на довкілля);
- соціальні аспекти (громадський контроль, екологічна відповідальність підприємств);
- економічна доцільність (ефективність застосування екологічно чистих технологій).

Серед найбільш критичних факторів впливу були визначені [20]:

- деградація ґрунтів (порушення структури земель – 26,14%, втрата родючого шару – 19,19%);
- забруднення водних ресурсів (зміни у гідродинамічному та гідрохімічному режимі підземних і поверхневих вод – 14,09%);
- забруднення атмосферного повітря (викиди пилу, важких металів, шкідливих газів – 2,66%);
- негативний вплив на біорізноманіття (знищення природних екосистем, зменшення чисельності видів флори та фауни – 8,83%);
- накопичення токсичних відходів (акумуляція радіоактивних елементів, хімічне забруднення територій – 6,12%).

Екологічні заходи мінімізації впливів. На основі виконаної оцінки були запропоновані такі природоохоронні заходи, як рекультивация земель, впровадження замкнених систем водокористування, застосування пілозахисних і фільтраційних технологій, впровадження енергозберігаючих рішень та використання біотехнологічних методів очищення.

На фінальному етапі запропоновано низку конкретних технологічних рішень, зокрема:

- екологічно безпечні методи збагачення руди,
- перехід до підземного видобутку,
- моніторинг довкілля в режимі реального часу,
- використання відновлюваних джерел енергії,
- раціональне управління та переробка відходів.

Переваги МАІ у порівнянні з іншими методами екологічної оцінки.

Унікальність підходу на основі МАІ полягає у поєднанні системності, кількісної точності та гнучкості, що особливо важливо при оцінці складних і багатовимірних процесів, таких як вплив видобувної діяльності на довкілля.

На відміну від інших методів екологічної оцінки – наприклад, експертного опитування, бальної оцінки або SWOT-аналізу – МАІ дозволяє не просто ранжувати фактори впливу, а побудувати чітку логічну структуру з кількох рівнів, яка відображає взаємозв'язки між усіма елементами системи. Це критично важливо у випадку Межирічного родовища, де впливи мають як локальний, так і регіональний масштаб, і стосуються різних екосистемних компонентів (вода, ґрунт, повітря, біота).

Ще однією унікальною рисою є можливість кількісної обробки якісних суджень, зокрема, експертних оцінок, які перетворюються на вагові коефіцієнти через попарне порівняння. Завдяки цьому МАІ дозволяє інтегрувати різноспрямовані дані (екологічні, економічні, соціальні) в єдину систему, забезпечуючи об'єктивну та прозору оцінку. Крім того, МАІ має вбудовані механізми перевірки узгодженості суджень експертів, що робить результати більш достовірними та науково обґрунтованими. У традиційних методах така перевірка або взагалі відсутня, або проводиться лише формально.

Ключовою перевагою є динамічність підходу. Ієрархічна структура легко адаптується до змін: при появі нових даних, зміні технологій або умов проекту можна швидко оновити відповідні рівні ієрархії без необхідності перебудови всієї системи аналізу.

Таким чином, унікальність підходу МАІ в контексті дослідження Межирічного родовища полягає у можливості поетапно, прозоро й гнучко оцінити складну екологічну ситуацію, врахувати різні типи впливів і запропонувати оптимальні рішення для підвищення рівня екологічної безпеки, що значно перевищує можливості традиційних методів.

Висновки. У ході дослідження обґрунтовано доцільність використання адаптованого методу аналізу ієрархій (МАІ) для оцінювання екологічної безпеки видобування титанових руд на Межирічному родо-

вищі. Запропонований підхід дозволив структурувати складну систему екологічного аналізу на вісім взаємопов'язаних рівнів, що охоплюють геологічні характеристики, технологічні процеси, наслідки впливів, критерії оцінювання, механізми управління, адміністративні рівні та природоохоронні заходи.

Застосування МАІ, адаптованого до екологічних завдань, дозволило виявити найбільш критичні фактори впливу, серед яких найбільшу вагу мали: деградація ґрунтів (26,14%), втрата родючого шару (19,19%), зміни у гідродинамічному та гідрохімічному режимі вод (14,09%), забруднення атмосфери (2,66%), негативний вплив на біорізноманіття (8,83%) та накопичення токсичних відходів (6,12%).

Отримані дані слугували науковим підґрунтям для розробки програми післяпроектного екологічного моніторингу та регламенту періодичності й методів спостереження в зоні впливу об'єктів ТОВ «МЕЖИРІЧЕНСЬКИЙ ГЗК». МАІ дозволив теоретично обґрунтувати доцільність постійного моніторингу найбільш уразливих компонентів довкілля (зокрема, підземних та поверхневих вод) та визначити перелік пріоритет-

них показників контролю (хлориди, сульфати, загальна жорсткість, сухий залишок, титан, марганець).

Проведене дослідження підтвердило, що системний підхід, заснований на МАІ, забезпечує високу надійність оцінок, дозволяє враховувати взаємозв'язки між різними чинниками впливу та оперативно адаптувати управлінські рішення до змін у середовищі. Це створює умови для інтеграції екологічної безпеки у стратегічні пріоритети розвитку ресурсодобувної галузі, зокрема у контексті післявоєнного відновлення економіки України.

Таким чином, використання МАІ, адаптованого до екологічних завдань, у контексті управління екологічною безпекою відкритого видобування титанових руд (на прикладі Межирічного родовища) дозволяє системно оцінювати впливи на довкілля, розробляти ефективні заходи з охорони навколишнього середовища, оптимізувати процес екологічного моніторингу та забезпечувати збалансоване використання природних ресурсів. Запропонований підхід може стати основою для подальшого вдосконалення екологічного менеджменту та сприяти сталому розвитку видобувної галузі з урахуванням екологічних пріоритетів.

Література:

1. Hoxha E., Symochko L., Pinheiro M. N. C. The environmental impact of mining activities in Europe: a comprehensive analysis. *EQA – International Journal of Environmental Quality*, 2024. № 66. С. 30–42. DOI <https://doi.org/10.6092/issn.2281-4485/20521>
2. Маркіна Н.К., Горишнякова Я.В. Оцінка стану складових довкілля в зоні впливу видобувної діяльності Межиріченського гірничо-видобувного комбінату по результатам комплексного моніторингу. *Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення*: матеріали XVIII Міжнар. наук.-практ. конф. м.Харків, 15-16 верес. 2022 р. Харків, 2022. С. 212–214. URL: <http://www.niiep.kharkov.ua/sites/default/files/konfer2022.pdf>
3. Маркіна Н.К., Горишнякова Я.В. Наукове обґрунтування організації післяпроектного гідрохімічного моніторингу в титанодобувних регіонах. *Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського*. Кременчук: КрНУ, 2023. Випуск 2 (139). С. 46–54. DOI <https://doi.org/10.32782/1995-0519.2023.2.6>
4. Аніщенко Л.В., Горишнякова Я.В. Комплексна оцінка екологічної безпеки видобування титану відкритим способом на етапі післяпроектного моніторингу. *Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення*: матеріали XIX Міжнар. наук.-практ. конф. м.Харків, 14–15 верес. 2023 р. Харків, 2023. С. 22–27. URL: <http://www.niiep.kharkov.ua/sites/default/files/konfer2023.pdf>
5. Leopold L.B., Clarke F.E., Hanskow B.B. A prouder for evolution environmental impact. 1971. 13 p.
6. Thomas L. Saaty, Kevin P. Kearns. Analytical planning: The organization of systems. RWS Publications, 1991. 208 p.
7. Thomas L. Saaty, Luis G. Vargas. Models, Methods, Concepts & Applications of the Analytic Hierarchy Process. Springer Science & Business Media, 2012. 333 p.
8. A. Kh. Hamdoon Al-Rahbi, M. F.M. Abushammala, Wajeeha A. Qazi. Application of the analytic hierarchy process for management of soil erosion in Oman. *International Journal of the Analytic Hierarchy Process*, 2020. Vol. 12. № 1. P. 104–116. URL: https://www.ijahp.org/index.php/IJAHp/article/view/683?utm_source=chatgpt.com
9. Patyk, M.; Bodziony, P. Application of the Analytical Hierarchy Process to Select the Most Appropriate Mining Equipment for the Exploitation of Secondary Deposits. *Energies* 2022, 15, 5979. DOI: <https://doi.org/10.3390/en15165979>. URL: <https://www.mdpi.com/1996-1073/15/16/5979>
10. Wang X., Liu B., He S., Yuan H., Ji D., Qi L., Song Y., Xu W. An Analytic Hierarchy Process Method to Evaluate Environmental Impacts of In Situ Oil Shale Mining. *Sustainability*, 2024, 16, 1363. DOI: <https://doi.org/10.3390/su16041363>
11. Shome S.D., Mhaske S.N., Chakravorty S. (2024). Assessment of Environmental Severity Around the Mining Region Using GIS-Based AHP Model: A Case Study of the Dongri Buzurg Manganese Ore Mine, India. *J. Inst. Eng. India Ser. D* 105, 769–794. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40033-023-00518-2>
12. Wu, Q., Fan, S., Zhou, W. (2013). Application of the Analytic Hierarchy Process to Assessment of Water Inrush: A Case Study for the No. 17 Coal Seam in the Sanhejian Coal Mine, China. *Mine Water Environ* 32, 229–238. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10230-013-0228-6>
13. Aryafar A., Yousefi S., Doulati Ardejani, F. (2013). The weight of interaction of mining activities: groundwater in environmental impact assessment using fuzzy analytical hierarchy process (FAHP). *Environmental Earth Sciences* 68, 2313–2324. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12665-012-1910-x>
14. Adamova, G. V. Comprehensive Ecological and Analytical Assessment of the “Car-Road-Environment System” on the Example of the Road M-29 Section. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University. Series Ecology*, 2021. № 25. P. 55–69. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2021-25-05>

15. Комп'ютерна програма «PROGRAM OF ANALYTICAL SYSTEM OF STRATEGIC ENVIRONMENTAL ASSESSMENT. ANALYTIC HIERARCHY/NETWORK PROCESS» / Л.А. Пісня, Л.Я. Аніщенко, Б.С. Свердлов, С.Б. Свердлов. – Номер свідоцтва про реєстрацію авторського права на твір: 121616, Дата реєстрації авторського права: 06.12.2023, Об'єкт авторського права, до якого належить твір: 16. Комп'ютерні програми. Дата публікації: 29.12.2023, Номер бюлетеня: 78. URL: <https://ukrpatent.org/uk/articles/bulletin-copyright>.

16. Технології системного аналізу. Метод аналізу ієрархій. Основні етапи методу аналізу ієрархій. URL: https://moodle.znu.edu.ua/pluginfile.php/1189269/mod_resource/content/0/%D0%9B%D0%B5%D0%BA%D1%86%D1%96%D1%8F%205%202024.pdf

17. Терент'єв О.О., Київська К.І., Делембовський М.М., Серпинська О.І. Методи експертних оцінок в системі прийнятих рішень : навч. посібник. Київ, 2020. 116 с.

18. Олексієнко Р.Ю., Донець А.О. Місце експертної оцінки у прийнятності управлінських рішень. *Економіка та суспільство*, 2021. Випуск 46/2021. С. 101–108. URL: <https://economyandsociety.in.ua/index.php/journal/article/view/381>. DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2021-26-59>

19. Гордєєва І.О. Оцінка адаптивності управління організацією методом аналізу ієрархій за критеріями ефективності та своєчасності прийняття рішень. *Ефективна економіка*. 2021. № 7. URL: http://www.economy.nauka.com.ua/pdf/7_2021/90.pdf. DOI: <https://doi.org/10.32702/2307-2105-2021.7.88>

20. Горишнякова Я.В., Аніщенко Л.Я., Пісня Л.А., Маркіна Н.К. Результати та особливості експертно-аналітичного оцінювання екологічно безпечного видобування розсіпів титану на прикладі Межирічного родовища. *Екологічна безпека : проблеми і шляхи вирішення* : матеріали XX Міжнар. наук.-практ. конф. м. Харків, 19–20 верес. 2024 р. Харків, 2024. С. 199–205. URL: http://www.nieep.kharkov.ua/sites/default/files/konfer_2024.pdf

References:

1. Hoxha, E., Symochko, L., Pinheiro, M. N. C. (2025). The environmental impact of mining activities in Europe: a comprehensive analysis. *EQA – International Journal of Environmental Quality*, 66, 30–42. DOI: <https://doi.org/10.6092/issn.2281-4485/20521>.

2. Markina, N. K., Horyshniakova, Ya. V. (2022). Otsinka stanu skladovykh dovykillya v zoni vplyvu vydobuval'noy diyal'nosti Mezhyrichens'koho hirnychodobyvnoho kombinatu po rezul'tatam kompleksnoho monitorynhu [Assessment of the state of environmental components in the area of influence of mining activities of the Mezhyrichensky mining and processing plant based on the results of comprehensive monitoring]. *Ekolohichna bezpeka: problemy i shlyakhy vyrishennya* [Environmental safety: problems and solutions] (pp. 212–214). Proceedings of the XVIII International Scientific and Practical Conference (Kharkiv, September 15-16 2022), UKRNDIEP. URL: <https://www.nieep.kharkov.ua/sites/default/files/konfer2022.pdf> [in Ukrainian].

3. Markina, N. K., Goryshnyakova, Ya. V. (2023). Naukove obgruntuvannya orhanizatsii pisliaproiektnoho hidrokhimichnoho monitorynhu v tytanodobuvnykh rehionakh [Scientific justification for organization post-project hydrochemical monitoring in titanium mining regions]. *Visnyk Kremenchutskoho natsionalnoho universytetu imeni Mykhaila Ostrohradskoho – Bulletin of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University*, (2)139, 46–54. DOI: <https://doi.org/10.32782/1995-0519.2023.2.6> [in Ukrainian].

4. Anishchenko, L. Ya., Horyshniakova, Ya. V. (2023). Kompleksna otsinka ekolohichnoi bezpeky vydobuvannya tytanu vidkrytyim sposobom na etapi pisliaproiektnoho monitorynhu [Comprehensive assessment of environmental safety in open-pit titanium mining at the post-project monitoring stage]. In *Ekolohichna bezpeka: problemy i shlyakhy vyrishennya* [Environmental safety: Problems and solutions] (pp. 22–27). Proceedings of the XIX International Scientific and Practical Conference (Kharkiv, September 14–15, 2023). UKRNDIEP. URL: <http://www.nieep.kharkov.ua/sites/default/files/konfer2023.pdf> [in Ukrainian].

5. Leopold, L. B., Clarke, F. E., Hanskow, B. B. (1971). A procedure for evaluating environmental impact. 13 p.

6. Saaty, T. L., Kearns, K. P. (1991). Analytical planning: The organization of systems. *RWS Publications*. 208 p.

7. Saaty, T. L., Vargas, L. G. (2012). Models, methods, concepts & applications of the analytic hierarchy process. *Springer Science & Business Media*. 333 p.

8. Al-Rahbi, A. Kh. H., Abushammala, M. F. M., Qazi, W. A. (2020). Application of the analytic hierarchy process for management of soil erosion in Oman. *International Journal of the Analytic Hierarchy Process*, 12(1), 104–116. URL: https://www.ijahp.org/index.php/IJAHp/article/view/683?utm_source=chatgpt.com.

9. Patyk, M., Bodziony, P. (2022). Application of the Analytical Hierarchy Process to select the most appropriate mining equipment for the exploitation of secondary deposits. *Energies*, 15(16), 5979. DOI: <https://doi.org/10.3390/en15165979>.

10. Wang, X., Liu, B., He, S., Yuan, H., Ji, D., Qi, L., Song, Y., Xu, W. (2024). An Analytic Hierarchy Process method to evaluate environmental impacts of in situ oil shale mining. *Sustainability*, 16, 1363. DOI: <https://doi.org/10.3390/sul6041363>.

11. Shome, S. D., Mhaske, S. N., Chakravorty, S., et al. (2024). Assessment of environmental severity around the mining region using GIS-based AHP model: A case study of the Dongri Buzurg Manganese Ore Mine, India. *Journal of the Institution of Engineers (India), Series D*, 105, 769–794. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40033-023-00518-2>.

12. Wu, Q., Fan, S., Zhou, W., et al. (2013). Application of the analytic hierarchy process to assessment of water inrush: A case study for the No. 17 coal seam in the Sanhejian coal mine, China. *Mine Water and the Environment*, 32, 229–238. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10230-013-0228-6>.

13. Aryafar, A., Yousefi, S., & Doulati Ardejani, F. (2013). The weight of interaction of mining activities: Groundwater in environmental impact assessment using fuzzy analytic hierarchy process (FAHP). *Environmental Earth Sciences*, 68, 2313–2324. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12665-012-1910-x>.

14. Adamova, G. V. (2021). Comprehensive ecological and analytical assessment of the “car-road-environment system” on the example of the road M-29 section. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University. Series Ecology*, (25), 55–69. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2021-25-05>.
15. Pisia, L. A., Anishchenko, L. Ya., Sverdlov, B. S., Sverdlov, S. B. (2023). PROGRAM OF ANALYTICAL SYSTEM OF STRATEGIC ENVIRONMENTAL ASSESSMENT. ANALYTIC HIERARCHY/NETWORK PROCESS (Computer software). Certificate of copyright registration No. 121616, registered on December 6, 2023. URL: <https://ukrpatent.org/uk/articles/bulletin-copyright>
16. Tekhnologii systemnoho analizu. Metod analizu ierarkhii. Osnovni etapy metodu analizu ierarkhii [System Analysis Technologies. Analytic Hierarchy Process. Main Stages of the Analytic Hierarchy Process] (2024). URL: https://moodle.znu.edu.ua/pluginfile.php/1189269/mod_resource/content/0/%D0%9B%D0%B5%D0%BA%D1%86%D1%96%D1%8F%205%202024.pdf [in Ukrainian].
17. Terentieiev, O. O., Kyivska, K. I., Delembovskyi, M. M., & Serpynska, O. I. (2020). Metody ekspertnykh otsinok v systemi pryiniatnykh rishen: navchalnyi posibnyk [Methods of expert evaluations in the decision-making system: Textbook] (116 p.) [in Ukrainian].
18. Oleksienko, R. Yu., & Donets, A. O. (2021). Mistse ekspertnoi otsinky u pryiniatnosti upravlinskykh rishen [The role of expert evaluation in the acceptability of managerial decisions]. *Ekonomika ta suspilstvo : Economy and Society*, 46, 101–108. URL: <https://economyandsociety.in.ua/index.php/journal/article/view/381> DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2021-26-59> [in Ukrainian].
19. Hordiieva, I. O. (2021). Otsinka adaptivnosti upravlinnia orhanizatsiiei metodom analizu ierarkhii za kryteriiamy efektyvnosti ta svoiechiasnosti pryiniattia rishen [Evaluation of organizational management adaptability using the analytic hierarchy process based on effectiveness and timeliness criteria]. *Efektivna ekonomika : Efficient Economy*, 7. URL: http://www.economy.nayka.com.ua/pdf/7_2021/90.pdf. DOI: <https://doi.org/10.32702/2307-2105-2021.7.88> [in Ukrainian].
20. Horishniakova, Ya. V., Anishchenko, L. Ya., Pisia, L. A., Markina, N. K. (2024). Rezultaty ta osoblyvosti ekspertno-analitychnoho otsiniuvannia ekolohichno bezpechnoho vydobuvannia rozsyviv tytanu na prykladi Mezhyrichnoho rodovyscha [Results and features of expert-analytical assessment of environmentally safe titanium placer mining on the example of the Mezhyrichne deposit]. In *Ekolohichna bezpeka: problemy i shliakhy vyrishennia* [Environmental safety: Problems and solutions] (pp. 199–205). Proceedings of the XX International Scientific and Practical Conference (Kharkiv, September 19–20, 2024). UKRNDIEP. URL: http://www.niep.kharkov.ua/sites/default/files/konfer_2024.pdf [in Ukrainian].